

DSP應用於PC-Based運動控制器之技術分析

■ 工研院機械所 何昌祐

摘要：

運動控制模組是PC-Based工業控制器的組成當中重要的關鍵模組，本文針對以數位訊號處理器所發展的DSP-Based運動控制模組之組成技術與設計規格加以分析比較，作為開發或選用運動控制模組時的參考。

一、前言

目前全球採用開放架構的PC來進行產業機械或CNC等之系統整合控制的案例已有愈來愈多之趨勢，而"PC-Based工業控制器"已不是個新名詞。採用PC-Based工業控制器為核心推出的機台，挾著PC產業的快速成長與更新，也以相當可觀的速度在成長。

以PC-Based工業控制器設計製造廠商的角度來看，PC-Based工業控制器的組成可以用圖1來表示，從圖中我們將PC-Based系統視為各軟硬體模組的組成，其中與硬體相關的模組包括：

- CPU模組（IPC卡，或PC主機板）
- I/O模組（負責處理系統中各類比或數位的輸出入訊號）
- Motion模組（負責馬達或油氣壓缸之運動控制）
- Display模組（負責顯示系統狀態）
- 網路模組（負責對外之聯繫）

而與軟體相關者如下：

- OS（作業系統）
- MMI（人機介面）
- Operation（加工操作）
- PLC（I/O控制）
- Interpreter（指令之解譯）
- Interpolation（運動之軌跡規劃）

在圖1的各開放式硬體模組中，以國內PC產業之豐富技術與人力，在跨入PC-Based工業控制器領域時，以CPU模組與Display模組較為容易，I/O模組與網路模組次之，而以運動控制模組的進入障礙最大。由於運動控制模組的開發跟世界其他各國比較起來仍有些差距，使得發展穩定且功能強大的運動控制模組成為當前發展PC-Based工業控制器各模組中相當重要的課題。

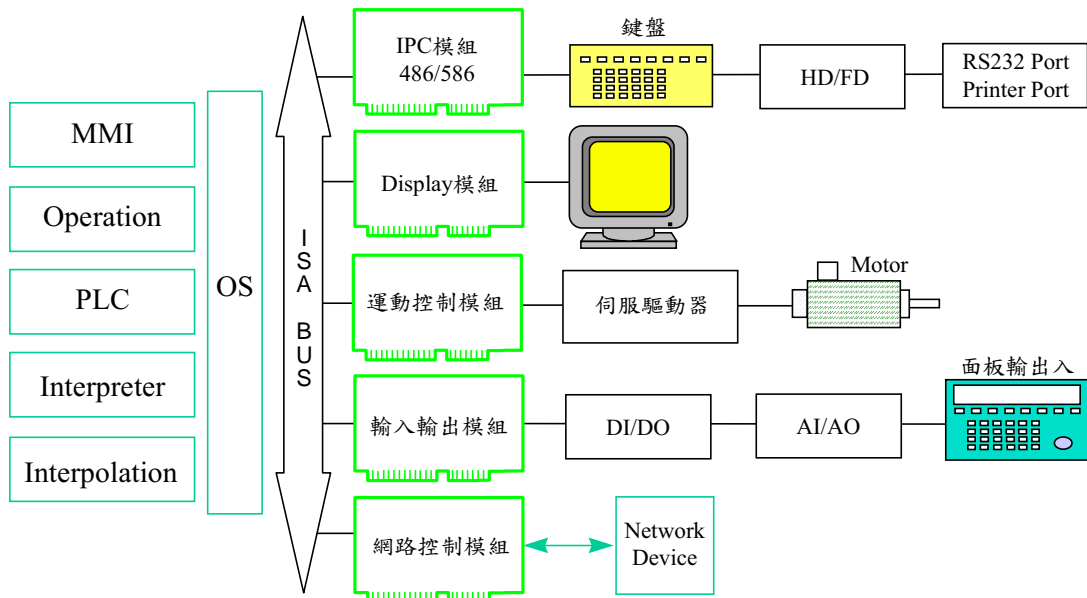


圖1 組成PC-Based工業控制器之軟硬體模組

再者，有了穩定且功能強大的智慧型運動控制模組，可減輕CPU處理各軟體模組的負擔，可把與運動控制相關的軟體（PLC、Interpreter、Interpolation）交由運動控制模組處理，如此一來PC-Based控制器可選用功能較強大的作業系統(Win 3.1/95/NT..)，並發展更好的人機界面與操作處理。本文將說明以數位訊號處理器（DSP）或者類似CPU來發展的運動控制模組之相關技術。

二、運動控制模組在PC-Based系統扮演的角色

□ 傳統定位界面模組

傳統的運動控制模組，從圖1可知只是PC-Based系統中硬體模組的其中之一，通常具備著馬達控制所需之介面，負責將馬達Encoder的位置訊號回授給CPU模組，待CPU模組處理完運動控制之軟體後，再透過此模組的D/A送出速度命令給馬達驅動器，如圖2，此類模組可稱之為PC-Based馬達界面模組。

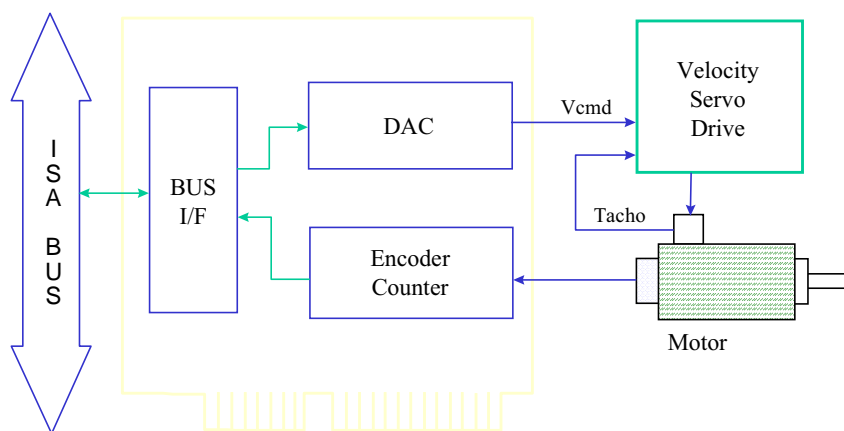


圖2 傳統PC-Based馬達界面模組

由於使用CPU來執行定位控制法則之計算，而且通常定位控制的取樣頻率(Sampling Frequency)約 $\leq 1\text{msec}$ ，使得在此架構下的PC系統存在1msec的外部

中斷訊號，造成PC上軟體的嚴重負擔。以486-DX33之四軸控制為例，CPU模組執行時軟體最大的執行負擔為servo control：

- Servo control:50%
- Motion planning:20%
- Interpreter:5%
- MMI + Operation:25%

這樣的系統只能提供在簡易型的機台控制，無法實現在CNC等產業機械上。

而為了在圖2運動控制模組架構下，減輕CPU軟體的負擔，一般採用品具備pulse output介面的模組，並搭配定位型（pulse type）伺服驅動器，如此CPU模組則不需執行servo control而減輕負擔，只是採用pulse type drive對系統運動控制的靈活性與即時性較不如採用速度型（velocity type）伺服驅動器。（因為一般的pulse type定位控制頻寬約10~30Hz，而速度型的驅動器頻寬約500~2KHz。）

□ 傳統改良型定位控制模組

好一點的運動模組除了提供PC對馬達介面(DAC, Encoder feedback) 之外，已將佔據CPU執行軟體最大負擔的position servo control移到運動控制模組上，甚至將細部的軌跡線性差值(一般採用Digital Differential Analyzer, DDA法則)也移到運動控制模組上（如圖3），此架構一般稱之為PC-Based定位控制模組，其具有下列優點：

1. 減少了CPU模組原本執行Position Servo Control的時間負擔
2. 定位控制特性可由定位控制模組，而不影響CPU模組的執行
3. 無需每1msec更新position control command，可減少了外部訊息對CPU模組的中斷，使系統軟體執行時，可減輕CPU模組上的作業系統(OS)負擔。

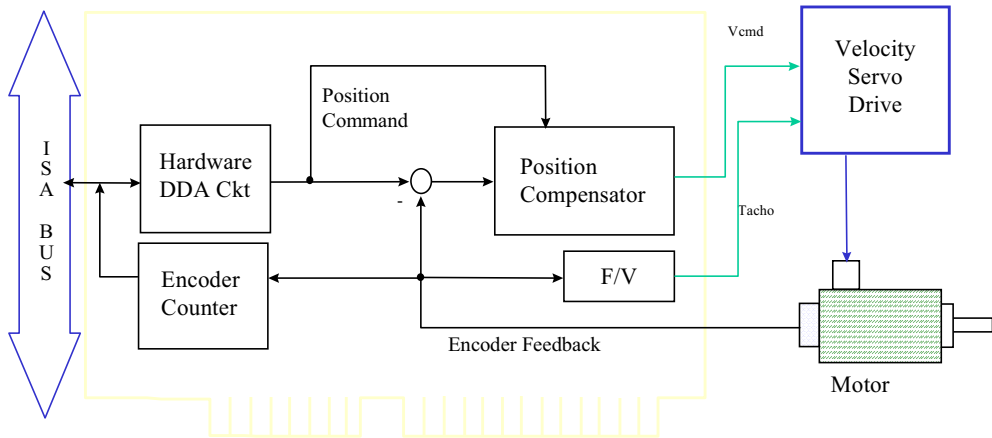


圖3 PC-Based定位控制模組

改良後的系統軟體執行負擔比例如下，可知原系統最大負擔的servo control已移至運動控制模組，此架構下的系統最大負擔為motion planning：

- Motion planning(24msec interrupt): 30%
- Interpreter(48msec interrupt): 10%
- MMI+Operation+PLC:..... 60%

若以motion planning每24msec執行一次，假設每次planning差值產生的位移命令上限為4095pulse，且假設系統馬達旋轉encoder對應之位移比例為1 pulse的encoder對應1 μ m位移，則此運動控制模組能控制的最快加工速度可計算如下：

$$\text{最大加工速度} = \frac{4095 \text{ pulse} \times \mu\text{M} / \text{pulse}}{0.024 \text{ sec} \times \text{min} / 60 \text{ sec}} = 10.2375 \text{ M/min}$$

而且，此架構下之每24msec的motion planning所產生的最大加工速度與軌跡規畫精度有限，仍無法面對CNC等強大功能強的要求。欲提昇系統性能使之能應用於PC-Based CNC等車床，銑床，磨床，放電加工機或線切割機等，國內廠商有些目前使用兩台IPC來彌補原單CPU架構之不足，由一台IPC專門負責MMI與Operation，而將real-time部份的運動控制相關程式等交由另一台IPC來處理(如圖4)，如此可提昇原加工速度與精度。

從圖4可知系統為了配合原架構之運動控制模組之功能，系統被分為兩個IPC系統，一為MMI IPC，一為Real Time Control IPC，MMI的IPC部份負責人機介面，各式加工操作，介面之處理，real-time部份則負責運動控制，指令解釋，軌跡規劃及PLC控制等。

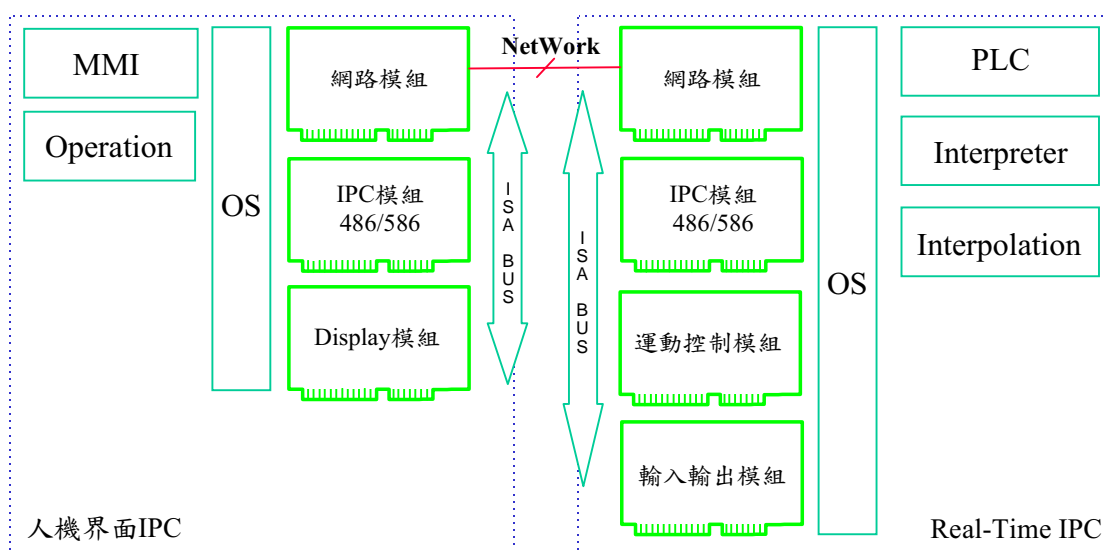


圖4 雙PC-Based工業控制器之組成模組

在此架構下，由於負責PC-Based系統運動控制部份由一台IPC全權負責，因此可提昇加工速度，可將最關鍵Motion Planing的中斷縮短到10msec，這使得加工速度增加如下：

$$\text{最大加工速度} = \frac{4095 \text{ pulse} \times \mu\text{M} / \text{pulse}}{0.010 \text{ sec} \times \text{min} / 60 \text{ sec}} = 24.57 \text{ M/min}$$

若real-time IPC的Motion planning的中斷處理可縮小至6 msec則加工速度可增為40 M/min。此架構雖可提昇real-time伺服控制的品質且擴增系統操作功能，但須維護兩套IPC，而且以現有的PC架構下，real-time部份的系統將因PC overhead過大而存在瓶頸。

□ DSP-Based運動控制模組

面對功能日趨複雜的產業機械與CNC控制的需求，功能複雜化，操作彈性化，介面人性化，以及高速高精度的加工系統，已經是當前工業控制器的趨

勢，而對於傳統的運動控制模組的有限功能，除了圖4的架構外，另外一個解決方案是提昇運動控制模組之功能，將傳統架構中，CPU所花在Motion planning, Interpreter, PLC等負擔(圖4中的real-time部份)由一塊具有獨立運算處理功能的智慧型運動控制卡來取代，如圖5所示。

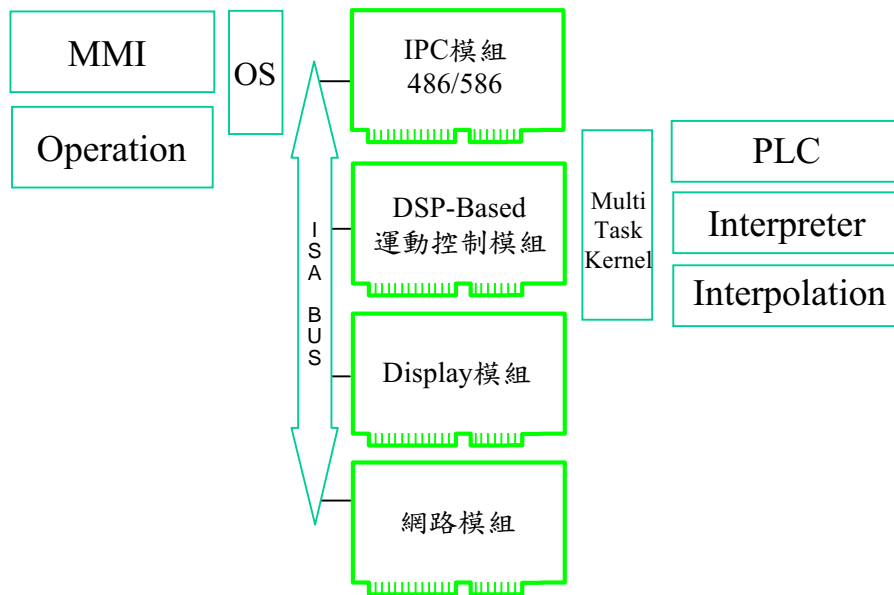


圖5 採用DSP-Based運動控制模組之PC-Based工業控制器架構

圖5之架構下，CPU模組可花較多的時間處理MMI，操作等事件，更可選用較功能強大的作業系統(Win 3.1/95 or Win NT)，至於motion相關的real-time計算則全部交給DSP模組即可。而由於目前DSP晶片處理速度愈來愈快且設計之overhead低，在4msec內完成關鍵的Motion Planning並非難事，若同樣以假設每次插值最大pulse數為4095 pulse，則DSP-Based運動控制模組最快的加工速度為

$$\text{最大加工速度} = \frac{4095 \text{ pulse} \times \mu\text{M} / \text{pulse}}{0.004 \text{ sec} \times \text{min} / 60 \text{ sec}} = 61.425 \text{ M/min}$$

若每2msec完成Motion Planning，則最快的加工速度可為120 M/min。面對愈來愈快速可加工速度(如線性馬達)，採用以DSP-Based運動控制模組之PC-Based工業控制系統不失為可行的方法。

採用DSP-Based架構的運動控制模組對於PC-Based工業控制器之提供廠商而言，他們可專心地處理以PC為核心的軟硬體，可不受real-time運動控制相關問題之限制，而自由地使用PC現有的資源，有助於使之成為PC-Based工業控制器total solution 的vender。必須強調的是，本文所定義的DSP-Based運動控制模組，並非一定要採用數位訊號處理器(DSP)為控制核心，採用功能強大且適用於Embedded系統發展的MPU, RISC等，亦歸類於本文的泛指的DSP-Based。

三、DSP-Based運動控制模組之分析比較

□ 產品現況

目前成熟、穩定的DSP-Based運動控制模組均為國外產品的天下，且價位均不低，以四軸控制標準組合來說，大約是新台幣10萬元左右，表1列出相關的廠商及產品。

表1 DSP-Based運動控制模組之產品現況

公司	產品	核心處理器	控制軸數	伺服馬達	步進馬達	PWM output
Parker	AT6250/6450	DSP(AD)	4	Yes	No	No
	AT6400	CPU(Motorola)	4	No	Yes	No
nuLogic	pcControl	CPU(Motorola)	4	Yes	No	No
	pcStep	DSP(AD)	4	No	Yes	No
Arcoloop	ACR8000	DSP(TI)	8	Yes	No	No
GALIL	DMC-1000	CPU(Motorola)	8	Yes	Yes	No
Optimized	NextMove	DSP(TI)	4	Yes	Yes	No
MEI	PCX/DSP	DSP(AD)	8	Yes	Yes	No
Tech 80	5650A	DSP	4	Yes	Yes	Yes
OMS	PC58	CPU(Motorola)	8	Yes	Yes	Yes
AcroTech	UNIDEX 500	DSP(Motorola)	4	Yes	Yes	No
	UNIDEX 600	RISC(Intel)	16	Yes	Yes	Yes
PMC	DCX	CPU(Intel)	8	Yes	Yes	No
ACS	SB-214	CPU(Intel)	4	Yes	Yes	Yes
Delta Tau	PMAC/PMAC2	DSP(Motorola)	8	Yes	Yes	Yes
MIRL	PMC32	DSP(TI)	4	Yes	Yes	Yes

□ 硬體規格

DSP-Based運動控制模組為一具有intelligent功能的PC-Based關鍵的模組，實現方式則各有所不同，以下說明硬體之相關規格：

CPU：

由於伺服控制有real time的需求，在實現運動控制模組時，一般都採用處理速度快速的DSP晶片，有些也有採用RISC或一般CPU。因為運動控制之軌跡規劃時需要大量的sin, cosine function等浮點運算，因此採用floating point的處理器將是較好的選擇。而由於DSP均為操作在相當高的頻率（ $\geq 40\text{MHz}$ ），使得DSP所執行的程式必須存放在快速的記憶體中（20ns），但一般使用於Embedded system的EPROM存取速度均高於45ns，因此選擇快速的DSP晶片時，通常需選擇具有Boot Loader功能的才可。此功能的DSP晶片可在開機時，以較慢的速度自動將程式碼從一般慢速的EPROM搬移到快速的SRAM中，待搬移完畢後，DSP則恢復以高速的頻率直接在SRAM中執行程式。目前常被拿來當作運算核心的DSP有TI：TMS320C3x；AD：ADSP2105；Motorola: DSP56002等，比較如表2所示。

表2 目前運動控制模組上之DSP晶片功能比較

Processor	DSP	Bits	Frequency	MFLOPS	MIPS	Boot Loader
TMS320C3x	Floating Pt.	32	60MHz	60	30	Yes (C31/32)
DSP56002	Fixed Pt.	24	60MHz	0	30	Yes

Memory:

大部份的DSP-Based運動控制模組執行時的程式均儲存於SRAM中，所使用memory的速度與容量也因各家廠牌而有所不同。一般而言，選用SRAM的速度範圍約是7ns~20ns，所對應的處理頻率是66MHz~40MHz。而完成PC-Based工業控制系統中需所有運動控制程式的程式大小如表3所示。當然，一般此規格需視系統功能而定的。

此外，有些DSP-Based運動控制模組對於PC的界面提供了快速的Dual Port RAM或FIFO作為real-time存取資料用，其規格亦如表3所示。

表3 DSP-Based運動控制模組所採用之Memory

Product	DSP	Memory	FIFO/DPRAM
ACROLOOP	TMS320C32	64Kx32 bits	FIFO: 512x8bits x2
PMAC II	DSP56002	128Kx24 bits	DPRAM: 8Kx16bits
NextMove	TMS320C31	128Kx32 bits	DPRAM: 2Kx8bits
DMC6-1040	MC68331	32Kx32bits	FIFO: 512x8bits
MEI	ADSP-2105	32Kx16 bits	(no ues)
PMC32	TMS320C32	256Kx32 bits	DPRAM: 8Kx16bits

Encoder Feedback:

定位控制是DSP-Based運動控制模組的基本功能，而大部份的位置sensor均為光學編碼器(Encoder)或為光學尺，其皆為quadrature output(A,B phase)，目前大部份的DSP-Based運動控制模組之標準規格為1MHz（具有光耦合器隔離），若以每個pulse代表1 μ m的位置，則1MHz的quadrature訊號代表的加工速度為：

$$10^6 \text{ phase/sec} \times 4 \text{ pulse/phase} \times \mu\text{M/pulse} \times 60 \text{ sec/min} = 240 \text{ M/min}$$

而quadrature輸出訊號格式可分為single-ended或differential，其中以differential抗雜訊能比較好。

Analog output:

當運動控制模組具有速度命令或扭力命令輸出時，大都採用類比的訊號來輸出，而以往所採用的數位類比轉換器(DAC)大都為12-bits解析度，但近年來驅動器可接受的速度命令或扭力命令的品質越來越高，因此DSP-Based的運動控制板相繼使用14-bits以上的DAC。

一般的DAC與DSP之間的界面可分為並列介面與串列介面的區別，而採用串列界面者可比並列界面節省PCB的面積，甚至可以用光耦合器將訊號隔離，只是使用串列介面的DAC時必須考慮此串列訊號的protocol須符合DSP現有的串列介面定義，否則須自行設計此一介面。

PWM output:

當運動控制板具電流控制，速度控制及定位控制時，其完成電流控制後將以脈寬調變(PWM)的方式輸出電壓命令給功率放大器。採用PWM的數位訊號輸

出需設定其載波頻率，因而決定了此PWM訊號的解析度，一般規格是當載波頻率為10KHz時具有10-bits的解析度。以三相伺服馬達驅動來說，每一軸須有3組PWM訊號(U,U\, V,V\,W,W\)輸出，作為相項的換流器(Inverter)來開關訊號。

Analog Input:

通常有兩種用途，一種為一般用途的類比訊號輸入，用於一般的電位計，或溫度、壓力 sensor 等，此類用途選用慢速的類比數位轉換器(ADC)即可(>100μsec)。另一種為馬達電流回授訊號輸入，當具有整合式伺服功能的運動控制模組控制三相馬達時，其每軸至少需要回授二相電流作為電流控制及電子換相用，此用途所選用的ADC轉換時間須小於10 μsec才可。

Pulse Output:

當系統應用到pulse type servo drive，step或micro-step drive時，DSP-Based運動控制模組需具備pulse output功能，但不同的馬達與驅動器，可接受最大的頻率不同（如表4）。

表4 Pulse Command Type驅動器之命令比較

Drive	pulse/rev	Typical max velocity	Typical max pulse rate
2 phase step	400	20 Hz	8KHz
5 phase step	1000	20 Hz	20KHz
Micro Step	50000	20 Hz	1MHz
Pulse Servo*1	10000	3000 RPM	500KHz

*1: pulse type servo with 2500PPR Encoder

從表4可知，輸出脈波的典型最大頻率要求為1MHz，但由於步進馬達的輸入脈波乃直接控制馬達的力矩響應，因此所輸入的脈波必須較平滑連續才可，而pulse type servo drive則因其輸入脈波乃直接控制馬達的位置響應，因此其脈波的平滑連續性可不如步進馬達般嚴謹。其脈波頻率平滑性要求比較為：步進 > 微步進 > 伺服，目前各motion card的輸出最大頻率比較如表5：

表5 DSP-Based運動控制模組最大脈衝命令輸出

Company(product)	MAX pulse output(Hz)
Parker(AT6400)	1.6M
nulogic(pcStep)	750K
Acorloop(ACR8000)	4M
GALIL(DMC-1000)	2M
Optimised(NextMove)	200K
MEI(PCX/DSP)	375K
Tech80(5030)	3M
OMS(PC58)	1M
PMC(DCX-PC)	1.25M
ACS(SB214)	3M
DeltaTau(PMACII)	3M/9M
MIRL(PMC32)	1M/4M

Serial Bus:

目前DSP-Based運動控制模組上的串列通訊埠約可分為兩類，一為與Host PC溝通，傳遞命令或訊息使用，通常是RS232（因任何PC皆有），或是RS422

或RS485等，此功能的重要意義在於有了與PC溝通的串列通訊埠之後，DSP-Based運動控制模組便可不插在IPC上，直接透過RS232而stand alone獨立執行。而另一類為工業用標準串列埠，如：CAN, SERCOS, profibus, interbus-s，此介面可以是網路架構，且直接連接具相同介面的馬達驅動器或擴充I/O等，目前具有此介面的DSP-Based運動控制模組有Optimised提供CAN BUS，MEI提供SERCOS，Delta Tau則提供自行訂定的MACRO。由於此功能可將運動控制相關的週邊元件(Drive, Motion, I/O)等以網路的方式串起，方便且省配線。

PC Bus：

一般PC-Based工業控制器常使用的BUS為ISA, STD32, VME, Multibus, G64以及最近正流行的Compact PCI，因此DSP-Based運動控制模組相對亦有不同bus的組合，但目前每家公司仍是以ISA為主，有些公司則有VME或Compact PCI的產品，生產VME-Bus運動控制卡的公司有：MEI、PMC、Delta Tau、AeroTech、ACS，而具有Compact PCI界面運動控制卡的公司目前有MEI。

□ 軟體規格：

在DSP-Based運動控制系統所提到的軟體有兩種，一為DSP所執行的程式，一般稱為firmware，一為PC上所執行的程式（software），以下則說明DSP-Based運動控制模組相關之軟體規格：

Real-Time Multi-Taskers Kernel:

不論是CNC或是伺服系統，基本上都屬於即時（real-time）系統，因為在CNC系統中要處理的工作輕重緩急各有不同且各有各的時效。若希望各工作可以即時的被處理而且面對不同的系統時仍無須做太大的修改，此時發展具有Real-Time且多工的DSP-Based運動控制模組可以容易的做到系統的即時控制，而且對firmware的更新、管理及模組化設計等均會較有效率。目前具有pre-emptive multi-tasker的DSP板有Acroloop(ACR8000)，及DeltaTau(PMAC)以及工研院機械所(PMC32)。

Servo update time:

在運動控制模組上所執行的伺服運動控制的品質指標可由Servo update Time看出，一般定義的servo update time=100 μ sec/axis，表示運動控制模組控制一軸的取樣時間是100 μ sec，若servo update time=250 μ sec/4axis，表示每250 μ s取樣一次，但四軸同時取樣亦同時控制(如圖6所示)：故servo update time愈小，伺服控制系統的取樣頻率愈高，表示系統有機會達到較好的動態響應。各家模組的servo update time比較如表6。

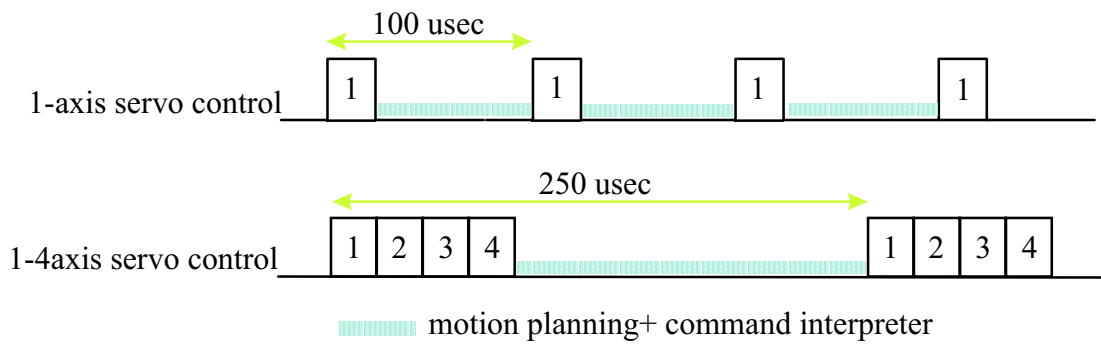


圖6 Servo Update Time之定義與比較(上:100usec/axis, 下:250usec/4axis)

表6 DSP-Based運動控制模組之servo update time與trajectory update time比較

Product	Servo update (max)	Trajectory update (max)
Parker(AT6450)	785usec/4axis	3msec/4axis
Acorloop(ACR8000)	50usec/axis	300usec/4axis
GALIL(DMC-1000)	125usec/axis	x
Optimised(NextMove)	250usec/4axis	x
MEI(PCX/DSP)	250usec/4axis	x
Tech80(5650A)	400usec/4axis	400usec/4axis
PMC(DCX-200)	400usec/6axis	x
ACS(SB214)	50usec/axis	400usec/4axis
DeltaTau(PMACII)	100usec/8axis (current) 440usec/8axis (position)	880usec/8axis

x: no information

Trajectory update time:

運動控制模組每秒所插值運算出來的軌跡點數(points/sec)，此值愈高表示運動軌跡規劃出來的插值點與實際命令的誤差愈小，系統愈有機會做到高速高精度。圖7說明在相同運動控制命令下不同的每秒差值點所計算出來的軌跡命令與誤差。

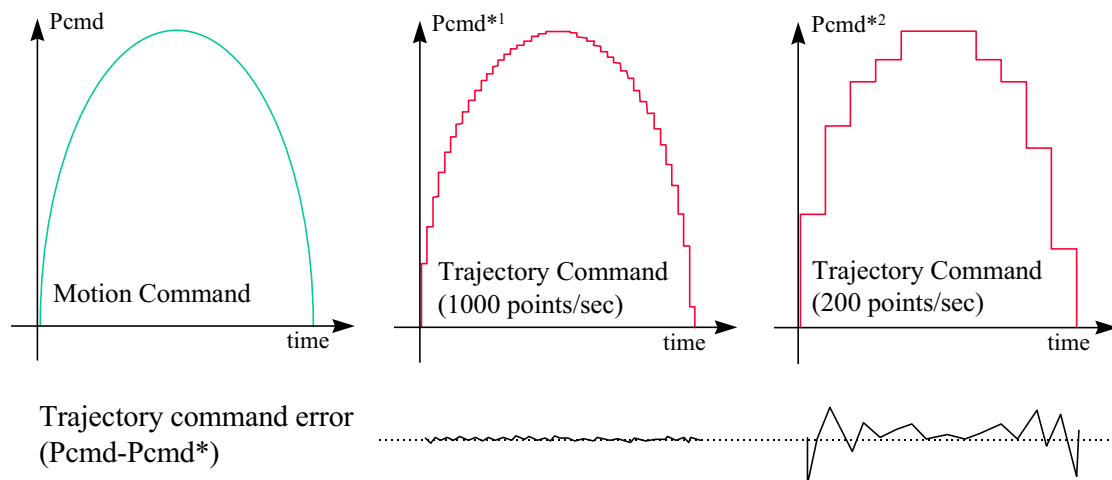


圖7 Trajectory update time對軌跡命令誤差之影響

Controller algorithm:

大部份的DSP-Based運動控制模組只提供了數位定位控制：根據位置命令回授位置訊號而輸出速度命令，而在這定位控制器中最普遍的是PID及Feedforward控制法則。其中Feedforward又有速度型與加速度型之分。如圖8所示。

PID為定位控制法則，速度型Feedforward可減少位置命令變化(dP^*/dt)所引起的追隨誤差(following error)，而加速度型Feedforward可減少速度命令變化(d^2P^*/dt^2)所引起的追隨誤差。

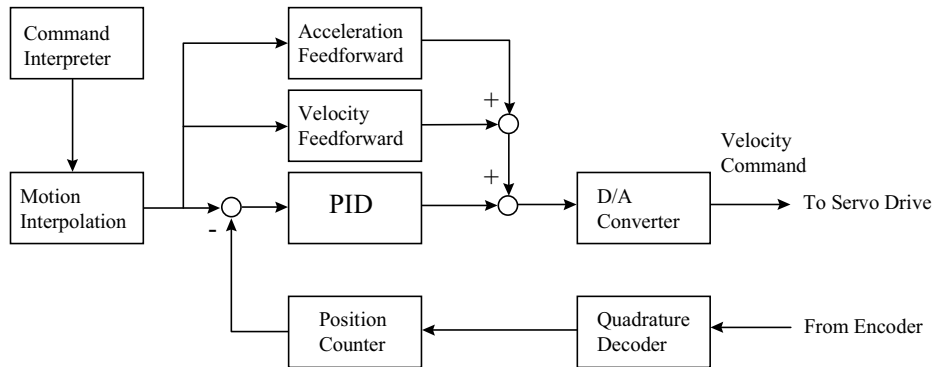


圖8 速度命令輸出之定位控制器架構

上述架構為一般DSP-Based運動控制模組所提供的速度控制模式，而有些則提供了扭矩命令輸出模式，將原來所搭配的馬達驅動器設定在扭矩控制模式 (Torque mode)，此時運動控制模組則扮演著定位控制器與速度控制器的角色：根據定位命令回授位置訊號，進行定位控制與速度控制，而輸出電流命令 (扭矩命令)，架構如圖9：

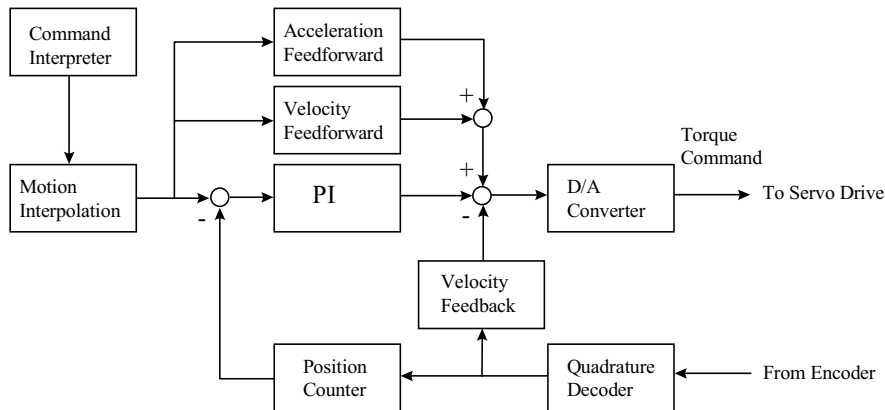


圖9 扭力命令輸出之定位控制器架構

使用扭矩控制模式可提昇伺服系統的動態響應，只是一般驅動器大都接受類比的扭矩命令，而使用類比的扭矩命令容易造成系統在低速時振動。而改善此振動現象可提昇類比扭矩命令的解析度或使用數位扭矩命令。

除了扭矩命令輸出模式外，有些DSP-Based運動控制模組則具有整合式伺服控制功能，即在運動控制模組中完成定位控制，速度控制，電流控制及三項馬達之換相控制等，其回授馬達位置訊號及三項電流訊號，並根據位置命令而輸出可直接控制功率換流器(power stage)的PWM訊號，此時的運動控制模組所扮演的角色除了運動軌跡規劃、指令解釋、PLC與定位控制等之外，還將原有存在於伺服驅動器中的控制器取代了，如圖10。

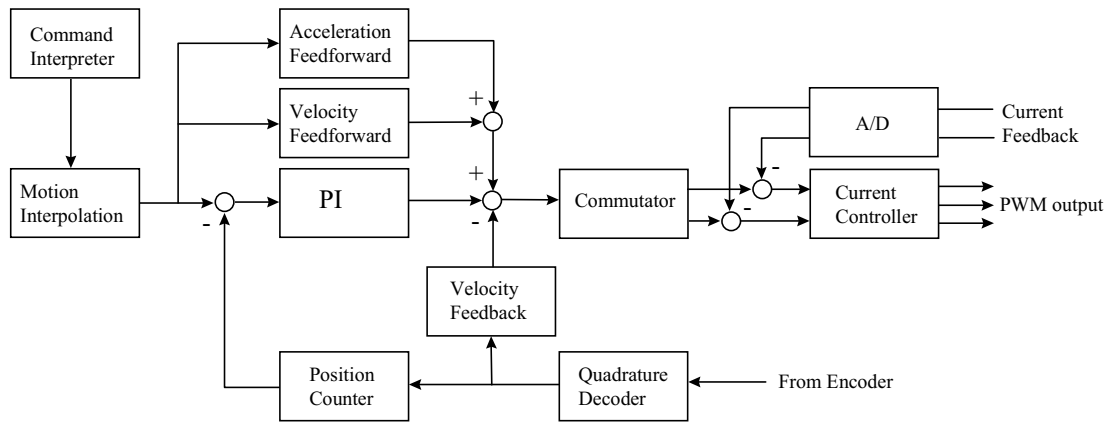


圖10 PWM命令輸出之定位控制器架構

這樣的整合控制具有下列優點：

1. 降低成本；採用功率放大器取代原有的伺服驅動器，可降低系統的驅動器成本，每軸約可省40%。
2. 全數位控制，可減少原來類比訊號所造成的溫度漂移或offset，且所有的控制參數可全由軟體來調整。
3. 控制系統整體考量，且直接控制馬達電壓，可比原系統輸出速度命令，更有機會提昇伺服系統特性

整合式伺服控制雖有上述優點，但仍須克服下列二項因素：

1. 標準化的功率放大器：目前尚未普遍，所預期的成本降低並未能浮現。
2. 教育使用者：整合式系統在教育使用者時必須比原有系統的定位控制技術增加馬達驅動技術，因此在使用者程度尚未建立之前，無形中阻礙了整合式系統的普及，如何分層設計整合式伺服系統，讓原有使用者無負擔地直接升級原有產品，再來分層教育使用者學習新的技術，將是應用或發展整合式伺服控制模組者必須面臨的課題。

目前具有整合式伺服功能的產品有：Delta Tau (PMAC II)，ACS (SB314) 及工研院機械所 (PMC32)。

Motion function:

大部份DSP-Based運動控制模組提供的Motion function可由表7來說明：

表7 DSP-Based運動控制模組提供的Motion Function

Servo	Interpolation	Interpreter	PLC
PID	Point-to-Point	RS-274	IEC 1131-3
Vel. Feedforward	Linear	HPGL	
Acc. Feedforward	Circle	Basic-Like	
Torque control	Helical		
Current control	Spherical		
Hydraulic control	Cylindrical		
Dual loop	Electronic CAM		
	Electronic Gear		
	Cubic Spline		
	Asynchronous		

由於開放性架構(OMAC, OSEC)的PC-Based工業控制器需求，使得近年來已有一些標準，存在如：RS-274, IEC 1131-3，因此在選用或發展DSP-Based運動控制模組時是否與相關的標準相容將是值得注意的地方。

PC environment:

使用DSP來實現PC-Based系統中的運動控制模組，除了在硬體架構需滿足PC-Based架構的要求，所應用軟體亦需與PC-Based S/W相容，否則仍然無法稱之為PC-Based工業控制器的控制模組。表8整理出目前各運動控制模組提供的作業系統及發展環境。

表8 DSP-Based運動控制模組提供之軟體環境

Device Driver	Operation System	Environment
Microsoft C	DOS	LabView
Microsoft Visual C/C++	Windows 3.x	LabWin
Watcom C/C++	Windows 95	Matlab
Symantec C	Windows NT	Simulink
Borland C	VxWork	
Microsoft Visual Basic	Lynx/OS	
GNU C	PSOS	
C-set	QNX	

Application :

就整體解決方案來說，運動控制模組的供應廠商除了供應基本的驅動軟體與硬體外，大都還提供了套裝的應用軟體，如表9所示

表9 DSP-Based運動控制模組之應用程式比較

公司(產品)	應用軟體	應用場合
Parker(AT6450)	CompuCAM	Accept DXF, G-code, HPGL
	Motion ToolBox	Toolbox for LabView
GALIL(DMC1000)	ECAM	Electronic CAM
Acroloop(ACR8000)	AcroVIEW	Initial setup, card diagnostics, tuning, and CAM
	AcroMILL	3-axis CNC milling
	AcroCUT	Plasma, Oxy-Fuel, Laser, and water jet cutting
Optimised(NextMove)	NextMove WorkBench	Testing, diagnostics
Tech80(5000)	CyberScan Cobra	Laser scanning
Delta Tau(PMAC)	PMAC-NC	3-5 axis CNC milling, EDM, Turning, Mill Turn
ACS(SB214)	W_ACSI	Initial setup, card diagnostics, digital filter tuning,

四、問題討論

□ DSP-Based vs. PC-Based

使用PC-Based工業控制器來擔任產業機械或工具機等核心控制器時，我們將系統分為real time與 non-real time部份，而DSP-Based運動控制模組的產生就是希望分擔PC-Based控制器的工作，把每個應用系統中的real-time共同的工作，選用了一個功能強的處理器(DSP等)來完成，而把每個應用系統均不太相同的人機界面、功能操作與資料管理等工作，交由PC-Based的CPU模組來完成。因此

系統整合者可將real-time控制的部份移開，而專心發展更人性化的人機界面，且可針對不同的應用系統設計處理更有特色的加工及操作know-how。

但系統的real-time部份是否一定要選用功能強大但與PC系統不相容的DSP晶片(或其他CPU)確是值得注意的課題，這又回到了專用系統與PC-Based系統之爭。

DSP-Based運動控制模組的核心處理器選用PC相容系列或專用CPU(如DSP)系列之比較如表10。

表10 運動控制模組選用PC(x86)或DSP為核心處理器之比較

	優點	缺點
PC 相容 CPU (x86)	<ol style="list-style-type: none"> 1. PC 系統市場資源豐富 2. 軟硬體發展環境容易建立 3. 人才培訓與取得較容易 4. 升級速度較快 	<ol style="list-style-type: none"> 1. PC 相容的 CPU 設計時 overhead 較重 2. 系統較龐大造成成本較高必須採用開放性架構的市場產品(市售主機板)時系統才具快速升級能力 3. 自行發展專用控制板則容易因為 CPU 生命週期短更新快造成專用控制板因 CPU 停產而經常改版
專用 CPU (DSP)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可針對運動控制的需求而選用專用的 DSP 以符合伺服性能 2. 成本較低(overhead 輕) 3. 專用之 DSP 或 CPU 產品生命週期長，停產時間慢 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 市場資源少 2. 軟硬體發展環境建立不易 3. 人才培訓與取得較不易 4. DSP 本身升級較慢

□ 驅動器界面之選擇與構裝需求

運動控制模組的設計是用來實現PC-Based工業控制器中的運動控制，有些只提供了定位控制命令輸出；有些則提供了速度命令、扭力命令；有些甚至可將原來驅動器中的控制功能實現於DSP-Based運動控制模組，送出PWM訊號以推動功率晶體而驅動伺服馬達(整合式伺服)。

圖11說明使用不同形式的伺服驅動器：包括pulse type(θ^*)、velocity type(ω^*)、torque mode(i^*)以及PWM amplifier($V_{c\text{ff}}^*$)來進行定位控制時，系統可以達到的頻寬特性比較。

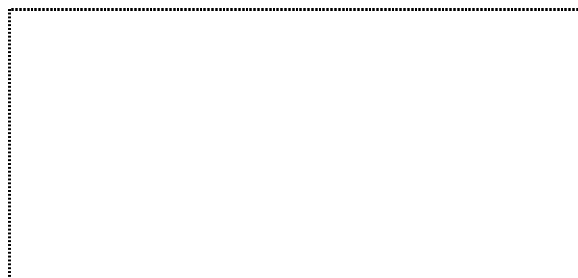


圖11 不同控制器架構所影響的定位控制頻寬(θ^* :位置命令, ω^* :速度命令, i^* :電流命令, $V_{c\text{ff}}^*$:電壓命令)

從圖11可知採用整合式伺服有機會提昇定位控制的品質。然而採用整合式伺服架構時，運動控制模組與驅動器間的配線構裝各家規格標準不一。而且每軸需要聯繫的訊號如下：

PWM(U,U\,V,V\,W,W\, 且用differential訊號傳遞)..... 6x2 = 12
 電流回授(至少兩相電流訊號, differential)..... 2x2 = 4
 I/O(8點)..... 8x1 = 8
 Encoder(A,A\,B,B\,I,I\, differential)..... 3x2 = 6
 DAC(兩組, differential) 2x2 = 4

可知每軸有34個訊號要傳遞，四軸則需要136條線訊號線的溝通，這造成各家在選擇配線時均採用高密度線材，但又礙於PC原有的構裝(後方出線，出線寬度最大為8.8cm)的限制，增加了系統配線的困難度。近年來具備工業網路界面(如SERCOS/IEC 1491)的驅動器，雖尚未普及但有越來越多的趨勢，有了符合伺服即時控制需求的高速網路界面的驅動器，則可解決配線與構裝的困擾。表11說明了DSP-Based運動控制模組採用不同形式驅動器的比較。

表11 運動控制模組採用不同形式驅動器的比較

伺服驅動器	優點	缺點
Pulse Servo Drive Step Drive	1.全數位化界面簡單 2.可接步進馬達	1.伺服動態響應受限
Velocity Drive Torque Drive	1.伺服動態響應佳 2.可接變頻器	1.類比界面輸出易飄移或 offset
PWM Power Amplifier	1.全數位界面 2.伺服動態響應較佳 3.功率放大器成本低	1.標準功率放大器尚未普及 2.使用者不易教育
Network Drive (SERCOS)	1.網路介面配線容易 2.可依不同介面定義進行位置、速度、電流等控制	1.網路界面驅動器尚未普及 2.各標準互不相容

五、結語

運動控制模組是PC-Based工控制器的硬體組成中最關鍵的模組，然而，系統整合廠商在開發新機種時，其面對於運動控制模組的選擇通常是被動的且無所適從。我們知道採用DSP-Based運動控制模組已經是PC-Based工業控制器系統的趨勢，而本文以發展智慧型運動控制模組的角度來分析DSP-Based運動控制模組，希望對有興趣自行開發或選用運動控制模組的廠家有快速而直接的助益。

相關參考資料

- [1] 何昌祐, 許明景, "DSP-Based運動控制架構說明", 電機月刊, 1997年5月。
 [2] ACS: www.acs.com
 [3] Acroloop: www.acroloop.com
 [4] Delta Tau: www.deltatau.com

- [5] PMC: www.pmccorp.com
- [6] "SERCOS-based cartoner improves flexibility & customer response", Control Engineering, July 1997.
- [7] Michael Babb, "PCs: The foundation of open architecture control systems", Control Engineering, Jan. 1996.
- [8] Tech80: www.tech80.com
- [9] MEI: www.motioneng.com
- [10] OMS: www.omsmotion.com
- [11] PLCopen: www.PLCopen.org
- [12] ISA: www.isa.org
- [13] CAN: www.ba-karlsruhe.de/automation/com/
- [14] "Take the right bus", Design News, Feb. 1996.
- [15] R.D. Lorenz, "Advanced motion control technology", Lecture, WEMPEC, 1996